

千葉県 の塩成干拓田に発生する亜鉛欠乏症を中心とした水稻生育障害の発現機構とその改良対策

著者	白鳥 孝治
号	52
発行年	1971
URL	http://hdl.handle.net/10097/12603

氏 名 (本籍)	しら 白 とり 鳥 こう 孝 じ 治 (千葉県)
学 位 の 種 類	農 学 博 士
学 位 記 番 号	農 第 5 2 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 1 月 1 3 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭和 2 7 年 3 月 東北大学農学部卒業
学 位 論 文 題 目	千葉県の塩成干拓田に発生する亜鉛欠乏 症を中心とした水稻生育障害の発現機構 とその改良対策
論文審査委員	(主 査) 教授 藤 原 彰 夫 教 授 志 村 憲 助 助教授 山 根 一 郎

論文 内 容 要 旨

塩成干拓田は広大な面積を擁し、千葉県内においても、およそ15,000ヘクタールに及んでいる。干拓当初のこれらの水田は、一般に不安定な土壌状態にあり、水稻には各種の生育障害が発生している。塩害、酸性障害、アルカリ障害などは、その代表的な生育障害である。また最近に至って塩成干拓田の中に亜鉛欠乏症が発見され、これはアルカリ障害の一種ではないかと考えられている。

しかしながら、昭和31年度以降、千葉県内の塩成干拓田を広く調査した結果によると、これまでの報告には見られない次のような現象に当面した。

- (1) 亜鉛欠乏症はアルカリ性土壌ばかりでなく、中性ないし微酸性土壌にも発生する。
- (2) 亜鉛欠乏症と酸性障害とは、同一地域内の隣接地に発生することがある。
- (3) 干陸後、年次を経るに従って、およそ塩害、亜鉛欠乏症、酸性障害の順に発生する。

これらの諸点はほとんど研究されていない分野であり、しかも塩成干拓田における一群の水稻生育障害を総合的に理解、解決するための鍵を握る問題ではないかと推定された。

本研究は、このような現地調査をふまえ、亜鉛欠乏症を中心として、塩成干拓田に発生する各種の障害を統一的に理解しようとするものであり、また塩成干拓田に発生する種々の障害に対する改良対策を樹立することを目的とするものである。

I 亜鉛欠乏症と酸性障害との相互関係

亜鉛欠乏症の出現する土壌の中には二つの型がある。一つは石灰質アルカリ性の土壌であり、今一つは硫化物を多量に含み、湛水状態にあっては中性附近pHを示すが、畑状態に放置されると硫酸の生成によって強酸性を示す土壌である。後者は一種の酸性硫酸塩土壌である。酸性障害の出現する土壌は、酸性硫酸塩土壌であり、干陸当初は通常微アルカリ性を示すが、畑状態におかれると硫酸の生成によって強酸性を示す。したがって亜鉛欠乏症発生土壌、酸性障害発生土壌の中には、ともに類似した土壌が含まれていた。

現地圃場で亜鉛欠乏症または酸性障害を起こしている酸性硫酸塩土壌を用いて、両障害の相互変換を試みたところ、ほぼ成功させることができた。すなわち、酸性障害田土壌は酸化されると水稻に酸性障害が表われるが、干陸当初の未酸化状態においては、水稻に対する亜鉛供給力が弱く、特

に易分解性有機物として沬紙を施用して土壌の還元状態を促進させると、水稻に明らかな亜鉛欠乏症が発生した。硫化物を多量に含む亜鉛欠乏症田土壌は、圃場状態のまま水稻を植えると亜鉛欠乏症が発生するが、この土壌を畑状態に放置してから水稻を植えると植付当初に酸性障害の兆候が現われた。

このように、酸性硫酸塩土壌に生育する水稻は、土壌が還元状態のときに亜鉛欠乏症が発生し、土壌が酸化状態のときに酸性障害が発生するものと考えられる。

Ⅱ 硫化水素と水稻の亜鉛欠乏症発生との関係

硫黄化合物含量の少ない亜鉛欠乏症発生土壌に硫酸根を施用すると、土壌還元化の著しいときのみ、水稻の亜鉛欠乏症は助長された。したがって、硫酸根の還元生成物質は水稻の亜鉛欠乏症を助長するものと考えられる。

土壌に含まれる還元的な硫黄化合物の代表的な一つとして硫化水素があるので、硫化水素の亜鉛欠乏症助長作用について検討した。

65 Zn を用いた水耕法による水稻の亜鉛吸収実験によれば、根圏に硫化水素が加えられると、直ちに亜鉛吸収は停止したが、硫化水素を2週間も根圏に加えておくと、硫化水素が根圏にあつても水稻の亜鉛吸収は強く抑制されなかつた。しかし硫化水素の作用を受けた水稻は、作用期間の長短にかかわらず最上位葉への亜鉛の移行は抑制されていた。したがって硫化水素は一義的に水稻の亜鉛吸収を抑制するとは言えないが、体内移行阻害をも含めて水稻の亜鉛欠乏症を助長するものと考えられる。

次に土壌中に存在することを予想される難溶性亜鉛化合物、 $Zn(OH)_2$ 、 $ZnCO_3$ 、 $Zn_3(PO_4)_2$ 、 ZnS の溶解度を計算したところ、 ZnS の溶解度が最低であつた。しかも硫化鉄の安定に存在する条件においては ZnS が最も安定な沈殿形態であり、溶液中亜鉛濃度は ZnS によつて規制されていることが明らかとなつた。

したがって、還元状態の発達によつて土壌中に硫化水素の発生をみると、水稻は亜鉛吸収移行阻害を受けるばかりでなく、溶液中亜鉛濃度も低下する。このことから硫化水素は水稻亜鉛欠乏症の発生原因の一つになりうるものと考えられる。

Ⅲ 土壌中亜鉛の形態

硫化物の集積した亜鉛欠乏症発生土壌中の形態別亜鉛含量を、健全田土壌中のそれと比較すると、

置換態亜鉛含量は少ないが、全亜鉛含量はほとんど類似し、稀酸可溶態、酸化可溶態、有機態の各亜鉛含量は、むしろ多量に含有していた。また酸化可溶態亜鉛は植物に利用されない硫化亜鉛を主体とし、有機態亜鉛は強固なキレート結合によつて結ばれていた。しかも還元型亜鉛欠乏症発生土壌に亜鉛を添加すると、健全土壌にくらべて多量の亜鉛を吸収し、酸化可溶態、有機態として土壌に強固に結合された。

また土壌中亜鉛に与える海水の影響を検討したところ、海水は稀酸可溶態亜鉛にくらべて置換態亜鉛を多量に溶脱させた。このことは、海水の影響の程度を異にする各地の土壌を用いて、稀酸可溶態亜鉛、置換態亜鉛の比を検討した結果からも確認された。置換態亜鉛は最も可給度の高い形態と考えられているので、亜鉛欠乏症が塩成干拓田に特に多く分布する原因の一つは、海水による可給態亜鉛の溶脱にあるものと考えられる。

かくて、塩成干拓田に分布する還元状態の酸性硫酸塩土壌にみられる亜鉛欠乏症は、硫化水素のような還元態の硫黄化合物の作用が強く関与し、これに土壌有機物、海水などの影響が追加されて発生しているものと考えられる。

Ⅳ 改 良 対 策

塩成干拓田に発生する各種生育障害の改良対策のうち、亜鉛欠乏症対策は最も研究が遅れているのでこれについて検討したところ、次の結果をえた。

1. 還元型の亜鉛欠乏症は土壌の酸化促進によつて顕著に改善される。
2. 酸性資材を用いて土壌pHを低下させる方法は、石灰質アルカリ性土壌の亜鉛欠乏症に有効である。ただし硫黄華などの含硫資材を使用すると、硫化水素の発生によつて障害を助長することがあるので、土壌酸化の促進対策を併用すべきである。
3. 健全土壌の客入、天地かえしによる健全な下層土を作土に用いること、などは安全有効で、実用性が高い。
4. 亜鉛施用は有効であり、特に亜鉛強化苗を利用する方法は、すぐれた実用技術である。ただし、亜鉛を直接圃場に施用することは、後日、亜鉛過剰症の起きないように注意しなければならない。
5. 畑苗は水苗に比して亜鉛を多量に含有するので、亜鉛欠乏症に対して強い抵抗性を示す。亜鉛強化苗の作成には畑苗を利用して、亜鉛とともに少量のマンガンを併用すると効果が高い。また畑苗は塩害、赤枯病などにも抵抗力があるので実用性が高い。

V 結 論

本研究の諸実験を総合すると、塩成干拓田に発生する各種の生育障害は、いずれも海水に由来する塩類の一次的、二次的な影響によるものと考えられる。すなわち、海水が土壌中に高濃度に残留するときは塩害を起し、土壌が還元状態のまま放置されると、海水に由来する硫酸根は硫化物として沈澱集積を続け、この時期に水稻は亜鉛欠乏症を起すのである。次に排水が進み、土壌が酸化状態になると、土壌中に集積していた硫化物は酸化されて硫酸となり、溶脱を始める。この時期に酸性障害が発生するのである。したがって海水中硫黄の集積および溶脱の過程に対応して発生する生育障害として、亜鉛欠乏症、酸性障害をとらえることができる。こうして海水に由来する成分の溶脱を完了して正常な水田土壌に定着するのである。

このような塩成干拓田土壌の基本的な変遷過程を背景として、海水による金属の溶脱作用、塩類の存在下における有機物の特殊な分解に由来する亜鉛欠乏症助長有機物の生成、貝殻にもとづく石灰過剰などが附加され、現実の障害が発生しているものと考えられる。

塩成干拓田における水稻生育障害に対する改良対策を実施するにあたって注意すべきことは、塩成干拓田土壌の生成的な変遷過程において、現在発生している障害がどの時期にあたる障害であるかを認識することである。そして次の時期に発生する障害型を予測し、将来の変化を考慮に入れて現実の改良対策を選択、実施すべきである。

第1表 亜鉛欠乏症田土壤、酸性障害田土壤の化学性と畑状態処理によるpH、硫黄形態の変化

	採取 地点	分析時の 土壤の状態	C E C ex C a S (mg/100g)						
			me/100g	me/100g	pH	SO_4^{2-} - Fes - Fes ₂ + α 合計			
酸性障 害田土 壤	吉 高	干陸直后原土	—	—	7.0	27	0	568	595
		畑状態処理後	—	—	2.3	300	0	232	532
		風乾処理後	8.2	10.0	6.5	—	—	—	—
亜鉛欠 乏田土 壤	城ノ内	圃場状態原土	—	—	7.3	3	47	99	149
		畑状態処理後	—	—	3.8	110	0	41	151
		風乾処理後	5.0	5.4	7.3	—	—	—	—
	大 倉	圃場状態原土	—	—	7.0	1	1	35	37
		畑状態処理後	—	—	7.7	1	0	31	32
		風乾処理後	5.7	8.7	8.0	—	—	—	—
健全田 土 壤	長 生	圃場状態原土	—	—	6.5	1	0	31	32
		風乾処理後	9.1	8.2	6.6	—	—	—	—

注 C, E, C : 塩基置換容量

ex, Ca : 置換性カルシウム

SO_4^{2-} : 硫酸態硫黄

Fes — : モノサルファイト態硫黄

$\text{Fes}_2 + \alpha$: ポリサルファイト態硫黄

分析値は乾土当の値を示す。

第2表 酸性障害、亜鉛欠乏症兩障害田土壤を用いて、相互に障害型を変換する試験結果

(植付4週后における測定値)

(1) 供試土壤		処 理	土 壤 P H	障害葉割合 (%) (2)			茎葉中 Zn (ppm)	障害型の 判 定 (3)
				健 葉	白 葉	斑 葉		
酸 性 障害田 土 壤	吉 高	な し	6.8	100	0	0	32	健 全
		Zn 施与	6.9	100	0	0	112	健 全
		濾紙施与	6.9	15	50	35	16	Zn 欠乏
		zn 濾紙施与	6.9	85	0	15	32	Zn 欠乏
		畑 処 理	3.3		枯 死		—	酸性障害
亜 鉛 欠乏田 土 壤	城ノ 内	な し	6.9	12	65	23	11	Zn 欠乏
		Zn 施与	6.9	58	33	9	24	Zn 欠乏
		畑 処 理	5.0	100	0	0	21	初期わづかに酸性障害
健全田 土 壤	長生	な し	6.6	100	0	0	34	健 全
		濾紙施与	6.8	100	0	0	77	健 全

注 (1) 次の状態の土壤を供試した

吉 高 土 壤 : 干陸当初の未酸化状態

城ノ内土壤 : 圃場状態原土

長 生 土 壤 : 圃場状態原土

(2) 全葉数に対する障害を受けた葉数の百分率

健 葉 : 正常な緑色葉

白 葉 : 中肋の黄白色化した障害葉

斑 葉 : 褐色斑点の発生した障害葉

(3) 亜鉛欠乏症は茎葉中 Zn 含量、可視症状、その他により判定

第3表 硫化水素処理による水稻の ^{65}Zn 吸収阻害状況

(吸収した ^{65}Zn の全放射能で示す)

H_2S 濃度 (ppm)		葉 身 (CPm/枚)				地 上 部
前処理 (2週間)	^{65}Zn 施用時	1葉	2葉	3葉	4葉	全 体 (CPm/本)
0	0	1.5×10^4	9.7×10^1	2.4×10^2	1.3×10^3	2.3×10^5
0	50	1.9×10^1	8.9×10^1	0	3.0×10^0	4.0×10^3
50	0	9.4×10^1	4.9×10^2	1.5×10^4	6.3×10^3	2.6×10^5
50	50	1.8×10^1	1.9×10^2	1.5×10^3	4.1×10^1	7.1×10^4

注 1. 実験条件

水耕育成葉令6 コシヒカリ苗使用

^{65}Zn 吸収は、ガラス室内24時間、200ml水耕液に放射能強度 6.4×10^6 cpmの ^{65}Zn 添加、供試苗2本挿入

2. 葉身の葉位は上位より1、2、3葉とし、値は主稈葉身の測定値を示す。

第4表 還元型亜鉛欠乏症田土壌(城ノ内土壌)中の形態別亜鉛含量(ppm)

	土壌 番号	風 乾 土 使 用			原 土 使 用	
		全	0.1N HCl 可溶	有機態	置換態	酸化 可溶態
Zn欠 土 壤	J15	46	6.5	4.1	0.	0.51
	J17	46	7.0	—	0.	0.59
	J21	55	8.2	11.0	0	1.17
健全 土 壤	J22	57	4.1	1.7	0.2	—0.03
	J24	57	2.7	2.2	0.2	—0.09

注 測定方法

有 機 態 : $\text{pH}7.0$ ピロリン酸ソーダ抽出

置 換 態 : $2\text{N}-\text{MgCl}_2$ 抽出

酸化可溶態 : ($1/40\text{N}-\text{I}_2$ を含む $\text{pH}5.8$ 酢酸液抽出)

—($\text{pH}5.8$ 酢酸液抽出)

審 査 結 果 の 要 旨

塩成干拓田は広大な面積を擁し、千葉県内においてさえおよそ15,000ヘクタールに及んでいる。干拓当初のこれらの水田は一般に不安定な土壌状態にあり、水稻には各種の生育障害が発生する。塩害、酸性障害、アルカリ障害、亜鉛欠乏症などはその代表的な生育障害である。

今迄はこれらの生育障害は個別的に全然異なる現象とされて、その発生の度毎に対症的な改良対策がとられているのに過ぎず、その発生機構の本態については殆んど不明の状況にあった。

著者は千葉県における塩成干拓田を広く調査すると共に多くのモデル実験を組立て研究の結果、幾多の新知見を得て改良対策の確立に成功した。すなわち先づ亜鉛欠乏症をとりあげ、この発生する土壌には石灰質アルカリ性のものと中性で硫化物を多量に含有するもののあることを確認し、後者は落水すると強酸性を示すことを発見した。前者は今迄、亜鉛欠乏土壌として認められていたものであるが、後者は新しく確認されたものであって亜鉛が硫化物として不溶化するため欠乏症をひき起すものである。そして硫黄化合物の少い土壌にも硫化物を加えると亜鉛欠乏症をひき起し得また硫化水素によっても亜鉛欠乏症を助長することも明らかにされた。さらに塩成干拓田に存在する亜鉛を健全田との比較において、全量、置換態、稀酸可溶態、酸化可溶態、有機態に分別定量し、亜鉛の動向を追跡して干拓田の亜鉛欠乏症は還元態の硫黄化合物の作用が強く関与し、これに土壌有機物、海水などの影響が追加されて発生するものであることを明らかにした。そして対策としては亜鉛の土壌施用をとらずに、畑苗代において亜鉛を多用することによって得た亜鉛強化苗によって、この問題を解決することを得たのは特記すべき事柄である。

このように本研究の多くの実験結果から干拓田において海水が土壌中に高濃度に残留するときは塩害を起こし、土壌が還元状態のまま放置されると、海水に由来する硫酸根は硫化物として沈澱、集積をつづけこの時期に水稻は亜鉛欠乏症を起すことが認められた。次に排水が進み、土壌が酸化状態になると土壌中に集積していた硫化物は酸化されて硫酸となり酸性障害が発生する。したがって海水中の硫黄の集積および溶脱の過程に対応して発生する生育障害を塩害、亜鉛欠乏症、酸性障害或いは、条件によってアルカリ障害としてとらえ最後に海水に由来する成分の溶脱を完了して正常な水田土壌に定着する経過を明らかにして干拓田の成立の全過程を説明し得るにいたった。今迄は独立の障害現象と考えられていたものが、硫黄の形態の変化に伴う、一連の変遷過程を背景として起る関連現象であることを解明して、その対策を確立し得たことは水田土壌の分野に新知見を加え、栽培学に新しい基礎を与えたものと認められるので、博士の学位を与えるに十分な価値を有するものと審査員一同は判定した。